



## Bref résumé des notions de base

### Notions de base de l'électrotechnique

#### Tension

La tension électrique est une force qui assure la circulation du courant électrique. L'unité de mesure est le Volt [V].

1 kilovolt = 1000 volt

220 kilovolt = 220 000 volt

380 kilovolt = 380 000 volt

#### Courant électrique

On appelle courant le mouvement des électrons généré par la tension. Dans le transport d'électricité, il s'agit du mouvement d'électrons dans un conducteur électrique.

L'unité de mesure est l'ampère [A].

#### Comparaison avec le modèle de l'eau

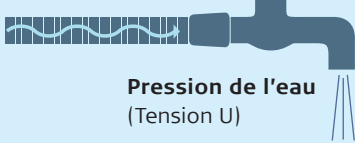
La tension correspond à la pression de l'eau

L'intensité du courant électrique correspond à la quantité d'eau en circulation par unité de temps

La résistance correspond à la section et à la longueur du tuyau

#### Tuyau

(Résistance R)



**Quantité d'eau**  
**Unité de temps**

(Courant électrique I)

#### Résistance

Tout matériau oppose une résistance au courant électrique. Cette résistance dépend de la conductivité électrique du matériau, ainsi que de la longueur et de la section du conducteur. De bons conducteurs électriques comme le cuivre ou l'aluminium sont utilisés pour le transport d'énergie. Les matériaux peu conducteurs comme les matières plastiques sont utilisés comme isolants. L'unité de mesure est l'ohm [ $\Omega$ ].

#### La loi d'Ohm

Tension = Résistance • Intensité ( $U=R \cdot I$ )

Concernant le transport de courant électrique, on peut donc déduire de la loi d'Ohm que:

» Plus la résistance est grande ou plus la section est réduite, plus la quantité de courant qui circule est réduite pour une même tension.

» Si le matériau du conducteur est un bon conducteur (p. ex. le cuivre), voire la résistance est faible, plus de courant peut être transporté avec la même tension.

#### Perte

On appelle perte, la différence entre l'énergie électrique produite dans une centrale électrique et l'énergie utilisée sur le lieu de consommation. Lors du transport du courant électrique des pertes sont générées par le biais du réchauffement des lignes (perte ohmique).

#### Puissance

La puissance est le produit du courant et de la tension. Elle désigne l'énergie convertie pendant une certaine période de temps. Lors d'un courant constant, une augmentation de la tension entraîne aussi une augmentation de rendement. Elle est mesurée en watts [W]. La ville de Zurich consomme jusqu'à 600 mégawatts.

1 mégawatt = 1 000 000 watts

#### Energie

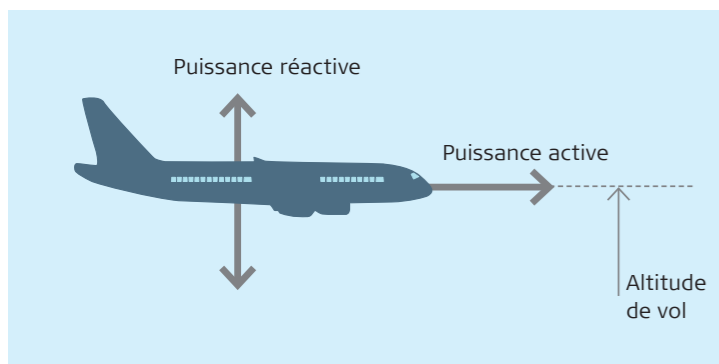
On désigne généralement par énergie la puissance fournie sur un temps déterminé. Elle est mesurée en puissance fois temps (p. ex. watt-heure). Cela signifie que l'énergie est d'autant plus grande que la puissance est élevée et que la durée de fourniture de la puissance est longue. Si une centrale hydroélectrique d'une puissance de 100 mégawatts fonctionne pendant 10 heures, alors l'énergie transformée sera de 1000 méga-watts-heure (MWh).

### Puissance réactive et puissance active

Seule la puissance active peut être utilisée, par exemple pour faire tourner un moteur électrique. La puissance réactive ne peut pas fournir de travail et surcharge le réseau de transport, car les moyens d'exploitation doivent l'absorber en plus de la puissance active. Cela dit, la puissance réactive est tout de même nécessaire. Le terme de puissance réactive est une modélisation qui peut être expliquée en prenant l'exemple d'un avion:

Pour qu'un avion puisse assurer la liaison entre Zurich et New-York, il doit voler à une hauteur adaptée d'environ 10 000 mètres. Il en va de même pour la tension dans le réseau de transport. Pour un transport efficace (avec peu de pertes) de grandes quantités d'énergie, on choisit une tension élevée de 220 ou 380 kilovolt.

Afin d'atteindre cette «altitude de croisière», il faut utiliser de l'énergie qui ne sert pas directement à la progression. On ne monte pas dans un avion pour monter dans le ciel, mais pour aller de Zurich à New York. La puissance réactive doit être présente dans le réseau pour atteindre la tension requise. Toutefois, seule la puissance active peut être utilisée par le consommateur. La puissance réactive est tout de même nécessaire pour assurer le transport d'énergie.



### Champs électriques et magnétiques

Les champs électriques et magnétiques font depuis toujours partie de notre environnement. Les plus connus sont le champ magnétique naturel terrestre ou le champ électrique lors d'orages. Des champs électriques et magnétiques apparaissent partout où l'énergie est présente: c'est le cas également lors de la production, du transport, de la distribution et de la consommation (p. ex. machine à café) d'énergie électrique.

#### Champs électriques

Plus la tension est élevée, plus le champ électrique est puissant. Ce champ est mesuré en volt par mètre. La valeur limite en Suisse pour les champs électriques de lignes aériennes à très haute tension est de 5 kilovolt par mètre.

#### Champs magnétiques

Plus l'intensité du courant électrique est élevée, plus le champ magnétique est puissant. La puissance d'un champ magnétique de lignes électriques est indiquée en microtesla, autrement dit en 1 millionième de tesla.

En Suisse, deux valeurs limites s'appliquent aux champs magnétiques:

» La valeur limite d'émission est de 100 microtesla et s'applique partout où des gens peuvent se trouver. Les lignes doivent de ce fait être dimensionnées de manière à toujours respecter cette valeur limite, quel que soit l'état d'exploitation.

» La valeur limite pour les installations s'élève à 1 microtesla et s'applique aux lieux à utilisation sensible (LUS). Cela concerne les locaux où des personnes séjournent régulièrement sur une période de temps prolongée, les espaces de jeux pour enfants publics ou privés, ainsi que les terrains non construits sur lesquels les activités susmentionnées sont autorisées.

Vous trouverez des informations détaillées sur ce sujet dans notre brochure «Champs électriques et magnétiques».

### Comparaison internationale des valeurs limites pour les champs électriques et magnétiques

	Champs électriques		Champs magnétiques	
		Valeur limite d'immissions	Valeur limite d'installation	
ICNIRP*	5 kV/m	200 $\mu$ T	-	
Suisse	5 kV/m	100 $\mu$ T	1 $\mu$ T	
Allemagne	5 kV/m	100 $\mu$ T	-	
Pays Bas	5 kV/m	100 $\mu$ T	**	

\* Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants.

\*\* Les Pays-Bas utilisent la charge annuelle moyenne comme base du calcul et non la charge maximale comme en Suisse. Ils ont une valeur limite pour les installations de 0,4  $\mu$ T.

## Technologies

### Courant alternatif

Type de courant électrique qui modifie périodiquement sa direction et sa polarité. Le courant alternatif s'est imposé dans le transport d'électricité au début du XXe siècle et est le courant le plus utilisé pour le transport d'électricité dans le monde. Etant donné que les lignes à courant alternatif peuvent être raccordées, elles sont donc adaptées à une exploitation au sein d'un réseau maillé. Le courant alternatif présente l'avantage que la tension peut être augmentée ou réduite à l'aide d'un transformateur. Pour transporter de l'énergie avec le moins de pertes possibles sur de longues distances, on utilise des tensions élevées qui sont ensuite converties en tensions plus faibles jusqu'au consommateur final.

### Fréquence

La fréquence désigne le nombre de changements de sens du courant et de la polarité par seconde, elle est mesurée en Hertz (Hz). En Europe, le réseau de transport possède une fréquence de 50 Hertz. Le réseau des CFF est exploité avec une fréquence de 16 2/3 Hertz.

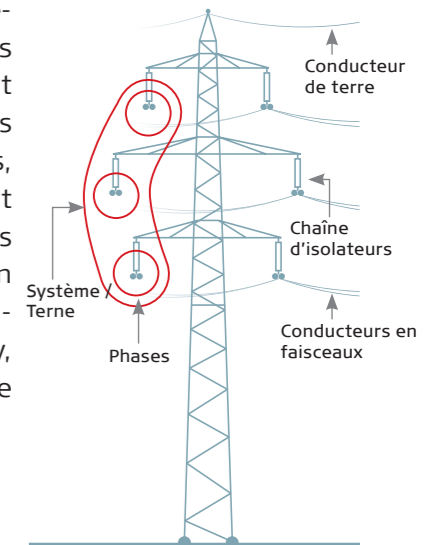
### Courant continu

Dans le cas du courant continu, le sens du courant électrique ne change pas. L'inconvénient des lignes à courant continu réside dans le fait qu'elles ne peuvent être raccordées sans avoir recours à une technique lourde et onéreuse. C'est la raison pour laquelle elles ne sont pas encore adaptées pour une utilisation dans un réseau maillé. Elles sont donc actuellement utilisées pour les liaisons point à point et raccordées au réseau d'approvisionnement à 50 Hertz par le biais de postes de conversion. Ces postes convertissent l'énergie à transporter de courant alternatif en courant continu, puis à l'extrémité de la section de transmission à nouveau du courant continu en courant alternatif pour que l'énergie puisse à nouveau être transportée dans le réseau à courant alternatif.

Ces postes de conversion nécessitent beaucoup de place. En raison des coûts d'investissement très élevés de plusieurs centaines de millions de francs suisses et des pertes dans les postes de conversion, une ligne à courant continu n'est économiquement rentable qu'à partir d'une distance de transmission de plusieurs centaines de kilomètres. Ce type de ligne n'est intéressant pour un petit pays comme la Suisse que dans le cadre d'un réseau européen.

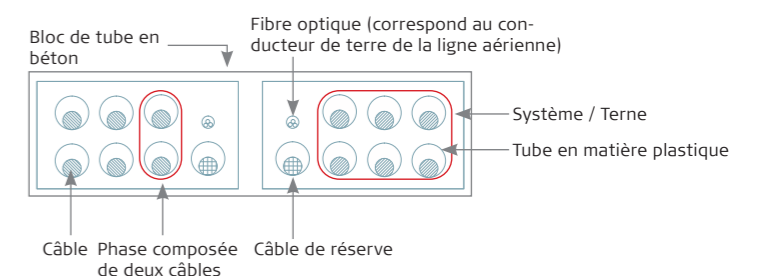
### Ligne aérienne

Une ligne aérienne est constituée de la totalité des conducteurs de phase et de terre sur une structure portante aérienne. On utilise dans le monde entier majoritairement des lignes aériennes pour le transport d'énergie à très haute tension, p.ex. pour le niveau de tension 220 et 380 kilovolt. L'air environnant sert d'isolation pour les lignes. La chaleur produite par le flux de courant électrique dans le conducteur peut facilement être évacuée dans l'environnement. Pendant les mois d'hiver, lorsque les températures sont basses, la quantité de courant transportée peut être plus importante qu'en été. En Suisse, on utilise essentiellement des câbles Aldrey, un alliage d'aluminium, de magnésium et de silicium.



### Câblage souterrain

Ensemble de lignes électriques souterraines comprenant tous les conducteurs de phase et de terre. Les câbles souterrains sont largement répandus, mais presque exclusivement dans les réseaux de distribution régionaux à basse et moyenne tension. Concernant la très haute tension, les câbles ne sont que peu utilisés et uniquement sur de courtes distances, en ville par exemple. Ils sont isolés par des matières plastiques (câbles VPE) ou du gaz (lignes à isolation par gaz). Etant donné qu'un câble est entouré de terre, la chaleur n'est que partiellement voire plus lentement évacuée, aussi en fonction du type de pose des câbles. Si les câbles sont posés de manière rapprochée, ils se réchauffent les uns les autres. Les deux effets, l'évacuation plus lente de la chaleur et le réchauffement réciproque des câbles, limitent le flux de courant électrique possible et diminuent ainsi la puissance pouvant être transmise à l'aide du câble. Ceci est compensé par une section de câble plus grosse que celle d'une ligne aérienne.



## Exploitation du système

### Sécurité (n-1) dans le réseau d'approvisionnement

(n-1) signifie que parmi l'ensemble des éléments de réseau initialement disponibles (n), p. ex. une ligne complète ou un composant, seuls (n-1) éléments de réseau restent disponibles suite à la défaillance d'un élément du réseau.

Selon les prescriptions d'exploitation européennes, la prescription de sécurité (n-1) indique que la sécurité d'approvisionnement doit être assurée même si un élément de réseau tombe en panne.

### Niveaux de réseau

Les réseaux servent au transport, à la distribution et à la transformation de l'énergie électrique. On distingue sept niveaux de réseaux, un niveau de réseau est défini par un niveau de tension.

La distribution de l'énergie électrique est résumée en quatre niveaux de réseau:

- » Niveau ① : Très haute tension 380 et 220 kV
- » Niveau ③ : Haute tension 50–150 kV
- » Niveau ⑤ : Moyenne tension 10–35 kV
- » Niveau ⑦ : Basse tension 220 et 400 V

### Indisponibilité

L'indisponibilité est le produit de la fréquence et de la durée d'interruption. Elle constitue une mesure de la durée moyenne sur une année au cours de laquelle un client est concerné par une interruption de fourniture. Plus une ligne ou une installation est hors service et plus la durée de défaillance est longue, plus son indisponibilité est importante.

Le changement de tension au moyen de transformateurs dans des postes de couplage est représenté dans trois niveaux de réseaux:

- » Niveau ② : Transformation de 380 et 220 kV en 50–150 kV
- » Niveau ④ : Transformation de 50–150 kV en 10–35 kV
- » Niveau ⑥ : Transformation de 10–35 kV en 220 et 400 V

